

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al – Fe – Mn

**Котов А.Д., Михайловская А.В.*

Руководитель – проф., д.т.н. Портной В.К.

НИТУ «МИСиС», г. Москва, *kotov.antony@gmail.com

Область применения алюминиевых сплавов постоянно растёт. Промышленность стремится к облегчению конструкций без потери прочностных характеристик. Сверхпластическая деформация (СПД) позволяет получить тонкостенные изделия сложных форм с высоким качеством поверхности, уменьшить количество сварных швов или клепаных соединений в конструкции. Сверхпластическая формовка имеет ряд технологических преимуществ, а экономическая выгода применения сверхпластической формовки доказана в условиях мелко- и среднесерийного производства, но в условиях повышенных скоростей формовки. Существующие сегодня материалы с размером зерна около 10 мкм, позволяют реализовать скорости СПД не выше 10^{-4} с^{-1} , в результате время, затрачиваемое на формовку одной детали, может достигать нескольких часов, что сдерживает использование данного метода в промышленности.

Повышение скорости деформации на один – два порядка, которое можно реализовать за счет уменьшения размера зерна до 1...5 мкм, позволило бы сократить время формовки одной детали до нескольких минут. Кроме того, микрозеренная структура в конечной продукции позволяет получить повышенный уровень механических свойств при комнатной температуре.

Таким образом, актуальным является исследование сплавов различных систем с целью получения микрозеренной структуры и разработки технологических схем обработки.

В данной работе были исследованы сплавы на основе алюминия, легированные эвтектикообразующими элементами: Fe, Mn, Ni, Si. Сплавы подвергали термдеформационной обработке, включающей гомогенизационный отжиг, горячую и холодную прокатку и ряд дополнительных отжигов. В качестве базовых выбрали сплавы на основе системы Al – Fe – Mn, кристаллизующихся по тройной и двойной эвтектическим реакциям с образованием фаз Al_3Fe и $\text{Al}_6(\text{FeMn})$. Эти сплавы обладают невысокой объемной долей частиц (до 8 %), поэтому после рекристаллизационного отжига холоднокатаного листа не удалось добиться среднего размера зерна менее 10 мкм.

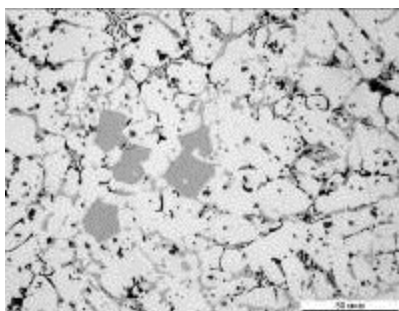
Для увеличения объемной доли частиц эвтектического происхождения были выбраны сплавы, дополнительно легированные никелем и кремнием. Для реализации эффекта термического упрочнения

сплавы дополнительно легировали цинком, магнием и медью. Составы сплавов представлены в таблице 1.

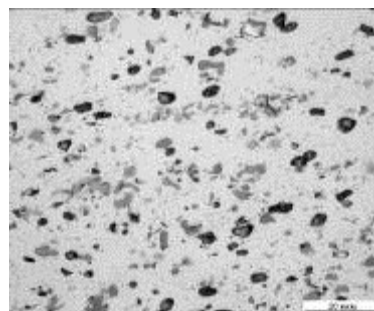
Таблица 1. Химический состав исследованных сплавов

Сплав	Массовая доля легирующих компонентов, %								
	Fe	Mn	Ni	Si	Cu	Mg	Zn	Zr	Al
1	1	1	-	-	-	4	-	-	Ост.
2	1	0,9	2	-	-	4	4	0,25	Ост.
3	1	0,8	1	-	3,5	1,3	-	0,25	Ост.
4	1	0,9	1	3,5	-	3	5	-	Ост.

В структуре всех сплавов, кроме сплава 3, наблюдали выделения грубых первично кристаллизовавшихся фаз. Было установлено, что эти грубые частицы измельчаются в процессе горячей деформации, а также фрагментируются и сфероидизируются при отжиге (рис. 1).



а



б

Рисунок 1. Структуры сплава 4 в литом (а) и в холоднокатаном состоянии (б)

После рекристаллизационного отжига холоднокатаных листов в течение 20 минут при температурах $0,95T_{пл}$ в сплавах 2...4 получили средние размеры зерен 5...6 мкм. В сплаве 1 средний размер зерна составил 10 мкм.

На основании испытаний со скачковым изменением скорости деформации по максимальному значению показателя скоростной чувствительности m , который составил 0,4...0,5, выбирали оптимальные скорости для испытаний на сверхпластичность. Относительные удлинения исследованных сплавов и значения оптимальных скоростей деформации представлены в таблице 2.

Видно (рис. 2, таблица 2), что из всех сплавов максимальным удлинением в 320 % при скорости деформации $1 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ обладает сплав 3. Напряжение течения при этом не превышает 8 МПа. На образцах из данного сплава исследовали зависимость твердости от времени старения при различных температурах. Максимальное значение твердости HV116

было достигнуто старением при температуре 210 °С в течение 3 часов. Данный режим упрочняющей термической обработки обеспечивает предел текучести 290 МПа, предел прочности 400 МПа и относительное удлинение 12 %.

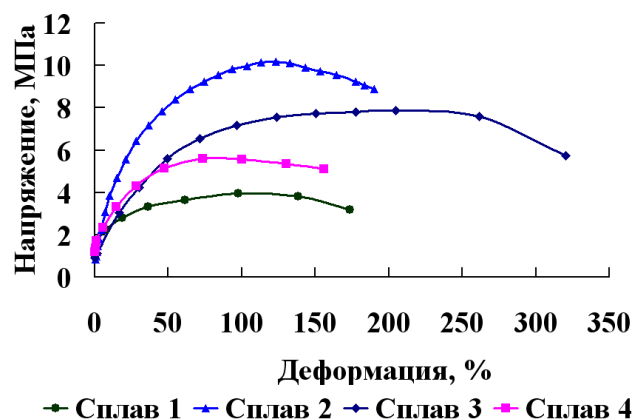


Рисунок 2. Зависимость напряжения течения от степени деформации исследованных сплавов

Таблица 2. Показатели сверхпластичности исследованных сплавов

Сплав	Температура испытания, °С	Скорость деформации, с ⁻¹	Относительное удлинение, %
1	555	$5 \cdot 10^{-4}$	215
2	490	$3 \cdot 10^{-3}$	255
3	515	$1 \cdot 10^{-3}$	320
4	500	$1 \cdot 10^{-3}$	190

Заключение:

Грубые частицы первично кристаллизующихся фаз измельчаются в процессе горячей деформации, а также фрагментируются и сфероидизируются при отжиге.

Предложены сплавы и технологии получения из них листов с размером рекристаллизованного зерна около 5 мкм. Наилучшими показателями сверхпластичности обладает сплав Al - 1 % Fe - 0,8 % Mn - 1 % Ni - 3,5 % Cu - 1,3 % Mg - 0,25 % Zr. Для этого сплава подобран режим упрочняющей термической обработки, обеспечивающий предел текучести 290 МПа, предел прочности 400 МПа и относительное удлинение 12 %.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.